

## EFEKTIVITAS BEBERAPA JENIS PUPUK N PADA PEMBIBITAN KELAPA SAWIT

### *Effectiveness of Several Types of N Fertilizer on Palm Oil Nursery*

WIWIK HARTATIK DAN HERI WIBOWO

Balai Penelitian Tanah  
 Jl. Tentara Pelajar No. 12, Bogor 16114

e-mail: [wiwik\\_hartatik@yahoo.com](mailto:wiwik_hartatik@yahoo.com)

Diterima: 28-07-2017 ; Direvisi: 14-05-2018 ; Disetujui: 07-06-2018

#### ABSTRAK

Formula pupuk N lepas lambat diperlukan untuk meningkatkan efisiensi N. Tujuan penelitian adalah mempelajari pengaruh beberapa jenis pupuk N terhadap pembibitan kelapa sawit menggunakan tanah Inceptisols Bogor. Penelitian dilaksanakan di Rumah Kaca dan Laboratorium Balai Penelitian Tanah, Bogor. Rancangan percobaan yang digunakan Rancangan Acak Lengkap dengan 5 ulangan. Perlakuan yang dicobakan adalah (1) Kontrol lengkap, (2) Kontrol tanpa Urea, (3) Urea pril (standar), (4) N + Zeolit 50%, (5) N + Zeolit 75%, (6) N + Zeolit 100%, (7) N + Zeolit + Kitosan 50%, (8) N + Zeolit + Kitosan 75%, (9) N + Zeolit + Kitosan 100%, (10) N + Zeolit + Humat 50%, (11) N + Zeolit + Humat 75%, (12) N + Zeolit + Humat 100%, (13) N-Humat 50%, dan (14) N-Humat 100%. Analisis tanah dilakukan sebelum tanam dan sesudah panen biomass dengan parameter: N-total (metode Kjeldahl), P-tersedia (Bray I), Kation dapat ditukar (Ca, Mg, K) dan kapasitas tukar kation (KTK) (ekstrak  $\text{NH}_4\text{Ac}$  pH 7), kejenuhan basa (KB). Pengamatan agronomis tinggi tanaman umur 1, 2, 4, 6, 8 dan 9 bulan, bobot biomass basah dan kering, serapan hara N, P dan K. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan N + Zeolit + Kitosan 75% nyata meningkatkan tinggi tanaman kelapa sawit umur 9 bulan sebesar 146,7 cm, bobot biomass kering sebesar 701,2 g  $\text{pot}^{-1}$  dengan nilai RAE 140% dan serapan hara N, P, dan K masing-masing sebesar 2,82; 0,25 dan 2,17 g  $\text{pot}^{-1}$ . Peningkatan bobot biomass kering sebesar 22% dibanding Urea standar. Formulasi pupuk N dengan Zeolit dan penyalutan dengan Kitosan mampu mengefisienkan pupuk Urea hingga 25%.

Kata kunci: Jenis pupuk N, kitosan, lepas lambat, pembibitan kelapa sawit, zeolit

#### ABSTRACT

Slow release N fertilizer formula is needed to increase N efficiency. The purpose of this research is to study the effect of several types of N fertilizer on palm oil nursery using Inceptisols Bogor. The research was conducted at green house and laboratory of Soil Research Institute, Bogor. Experiment design used was Completely Randomized Design with 5 replications. The treatments were (1) Complete control, (2) Control without Urea (3) Urea pril (standar), (4) N + Zeolite 50%, (5) N + Zeolite 75%, (6) N + Zeolite 100%, (7) N + Zeolite + Chitosan 50%, (8) N + Zeolite + Chitosan 75%, (9) N + Zeolite + Chitosan 100%, (10) N + Zeolite + Humat 50%, (11) N + Zeolite + Humat 75%, (12) N + Zeolite + Humat 100%, (13) N-Humat 50%, dan (14) N-Humat 100%. Soil analysis parameters were total N (Kjeldahl method), available P (Bray I), Exchangeable Cation (Ca, Mg, K), cation exchange capacity (CEC) ( $\text{NH}_4\text{Ac}$  extract pH 7), and Base saturation (BS). Agronomic observations were height plants in 1, 2, 4, 6, 8 and 9 months, biomass wet and dry weight, and nutrient uptake (N, P and K). The results showed that 75% N-Zeolite + Chitosan treatment significantly increased the height of oil palm crops in 9 months of 146.7 cm, biomass dry weight of 701.2 g  $\text{pot}^{-1}$  with RAE value 140% and nutrient uptake N, P, and K were 2.82, 0.25 and 2.17

g  $\text{pot}^{-1}$ , respectively. Dry biomass weight increased 22% compared with Urea standard. Formulation of N with Zeolite and coating with Chitosan Urea fertilizer efficiency up to 25%.

**Keywords:** Chitosan, palm oil nursery, several types of N fertilizer, slow release, zeolite,

#### PENDAHULUAN

Indonesia merupakan penanam sawit dan produsen CPO (*crude palm oil*) terbesar di dunia dengan luas areal tanaman pada tahun 2016 mencapai 11,6 juta ha dan produksi CPO 33,5 juta ton sawit (Direktorat Jenderal Perkebunan 2016). Perkebunan kelapa sawit umumnya merupakan perkebunan rakyat serta perusahaan besar negara (BUMN) maupun swasta. Produktivitas kelapa sawit Indonesia sangat bervariasi, baik di perkebunan besar maupun perkebunan rakyat. Meskipun telah dibudidayakan secara intensif, rata-rata tingkat produksi CPO perkebunan negara, baru mencapai 4,82 ton  $\text{ha}^{-1}$ , masih di bawah potensi genetiknya yaitu antara 6–8 ton  $\text{ha}^{-1}\text{tahun}^{-1}$ . Dengan budidaya seadanya, produktivitas di perkebunan rakyat jauh lebih rendah, yakni sekitar 2,5 ton  $\text{ha}^{-1}$  (Manggabarani 2009).

Pupuk merupakan salah satu faktor produksi yang sangat penting, sebagai faktor pembatas yang memainkan berbagai peran dalam pertumbuhan tanaman sawit (Corley and Tinker 2016), namun akhir-akhir ini harga pupuk di tingkat dunia meningkat cukup tajam dan ketersediaan pupuk berkurang. Oleh karena itu, dibutuhkan upaya untuk meningkatkan efisiensi pemupukan dan mencari alternatif pupuk yang memiliki efisiensi yang tinggi. Pemupukan pada tanaman kelapa sawit dengan pupuk anorganik telah lama menjadi instrumen penting untuk meningkatkan produktivitas maupun mengatasi kehilangan hara tanah (Soh et al. 2017). Akan tetapi, jika pemupukan dilakukan tidak tepat maka dapat menjadi sumber ketidakefisienan pengusahaan sawit (Darmosaroko et al. 2003). Hal ini semakin penting di tengah semakin mahalnya harga pupuk.

Pembibitan merupakan salah satu faktor penentu keberhasilan budidaya kelapa sawit (Hidayati et al. 2015);

(Silalertruksa et al. 2018). Dalam pembibitan kelapa sawit dikenal dengan pembibitan "*double stage*" yaitu pembibitan awal (*pra nursery*) dan pembibitan utama (*main nursery*). Pembibitan awal dilakukan selama 3 bulan dan membutuhkan naungan yang bertujuan untuk mendapatkan tanaman yang pertumbuhannya seragam saat dipindahkan ke pembibitan utama. Pembibitan utama dilakukan untuk menyiapkan tanaman agar cukup kuat sebelum dipindahkan ke lapangan (Soepadiyo Mangoensoekarjo 2008). Pertumbuhan bibit kelapa sawit sangat dipengaruhi ketersediaan hara yang berasal dari pupuk agar pertumbuhan tanaman optimal dan diperoleh bibit sawit yang dapat mendukung produktivitas yang tinggi. Pupuk urea yang beredar di pasaran saat ini adalah dalam bentuk prill. Aplikasi pupuk urea prill dengan cara disebar memberikan efisiensi yang sangat rendah (20-30%) karena memiliki kelarutan dalam air yang sangat tinggi, dan pada kondisi tertentu akan terjadi kehilangan N melalui aliran permukaan (*run off*), pencucian (*leaching*), dan penguapan ((Tisdale et al. 1985; De Datta et al. 1989). Faktor-faktor yang mempengaruhi kehilangan N yaitu ekosistem, sifat tanah, teknik budidaya, teknik pemupukan, dan kondisi cuaca (Bacon 1995).

Kehilangan N melalui volatilisasi amonia bervariasi dari 0% hingga >50% dari pupuk N yang diaplikasikan, tergantung pada teknik pemupukan dan kondisi lingkungan (Keller and Mengel 1986; Bacon et al. 1986; Black et al. 1989; Freney et al. 1990; Raun and Johnson 1999). Kehilangan N melalui denitrifikasi dipengaruhi sistem usaha tani dan pengelolaannya bervariasi antara 2% hingga 73% dari N yang diaplikasikan ((Raun and Johnson 1999; Galloway et al. 2004). Pada tanah-tanah dengan kandungan liat yang tinggi, kehilangan N melalui proses denitrifikasi pada tanaman tahunan umumnya terjadi pada saat tanaman diirigasi (irigasi) setelah dipupuk (Freney et al. 1990), sedangkan untuk tanah sawah umumnya terjadi pada saat penggenangan (Buresh and De Datta 1991; Aulakh et al. 1992). Selama proses nitrifikasi dan denitrifikasi, gas  $N_2O$  hilang melalui emisi ke atmosfer. Selanjutnya, kehilangan N melalui aliran permukaan dilaporkan antara 1% hingga 13% (Chichester and Richardson 1992) dari N yang diaplikasikan. Sedangkan kehilangan N melalui proses pencucian cukup rendah. Kehilangan N melalui proses pencucian pada aplikasi *dairy slurry* dengan urea dosis tinggi pada padang rumput di tanah vulkanik Osorno-Chile sangat rendah, yaitu kurang dari 1% dari aplikasi N total (Salazar et al. 2012).

Usaha untuk meningkatkan efisiensi pupuk urea telah dilakukan dengan beberapa cara diantaranya: (1) memperkeras butiran, (2) memperbesar butiran, (3) memperkeras dan sekaligus memperbesar butiran, dan (4) melapisi butiran dengan suatu senyawa lain. Untuk mengatasi terjadinya kehilangan N yang cukup besar, maka kelarutan N dari urea dibuat lambat tersedia serta disesuaikan dengan fase pertumbuhan dan kebutuhan tanaman. Urea dengan campuran matrik bentonit dan polimer organik memberikan nilai kumulatif *Nitrogen*

*Leaching Ratio* (NLR), yang merupakan rasio antara N tercuci dengan N urea, yang lebih rendah daripada nilai kumulatif NLR urea biasa. Hal ini menunjukkan bahwa matriks urea mampu meningkatkan efisiensi (Yang et al. 2017). Pelepasan urea lambat dapat dilakukan dengan pelapisan menggunakan polimer atau matriks hidrofobik untuk membatasi laju kelarutan urea (Naz and Sulaiman 2016). Pelapisan urea dengan pati dicampur dengan asam akrilat, PEG dan air mampu menurunkan kelarutan urea (Suherman and Anggoro 2011).

Zeolit berperan memerangkap hara N dalam bentuk  $NO_3^-$  atau  $NH_4^+$  dalam struktur alumino silikatnya sehingga tidak mudah hilang melalui pencucian atau volatilisasi, sewaktu-waktu dilepaskan secara perlahan-lahan untuk diserap tanaman. Zeolit berperan untuk menahan sementara unsur hara di daerah perakaran, sehingga pupuk Urea yang diberikan lebih efisien dan residu pupuk dalam rongga zeolit dapat dimanfaatkan tanaman. Kitosan adalah suatu polisakarida berbentuk linier yang terdiri dari monomer N-asetil glukosamin (GlcNAc) dan D-glukosamin (GlcN). Bentuk derivatif deasetilasi dari polimer ini adalah kitin. Kitosan bermanfaat sebagai bahan penyalut Urea, sehingga N dapat dilepaskan secara *slow release*. Dengan kemampuan zeolit dan kitosan ini maka bisa memberikan fungsi pelepasan lambat nitrogen dalam urea (Maharani and Novan 2017).

Asam humat berfungsi meretensi hara, dan mengurangi pencucian N dan meretensinya dalam zona perakaran, membentuk agregat mantap, memperbaiki porositas, meningkatkan kemampuan menahan air (*Water Holding Capacity*). Asam humat memainkan peran penting dalam siklus nitrogen global dengan mempengaruhi distribusi, bioavailabilitas, dan kondisi terkini nitrogen organik (Donga et al. 2012). Ada interaksi antara kelompok-kelompok fungsional kitosan dan zat humat (dari gambut). Kitosan dimodifikasi dengan zat humat dapat dilihat sebagai sistem potensial untuk pembuatan *slow release urea* (di bawah kondisi tanah dan pH), mengurangi kehilangan N dan berkontribusi untuk meminimalkan kerugian ekonomi dan lingkungan (Araújo et al. 2017).

Peningkatan efisiensi pemupukan dapat dilakukan dengan memanfaatkan salah satu teknologi nano. Teknologi nano dapat didefinisikan sebagai sebuah ilmu yang berhubungan dengan benda-benda kurang dari 100 nm, sehingga memiliki sifat yang berbeda dari bahan asalnya dan memiliki kemampuan untuk mengontrol atau memanipulasi dalam skala atom (Kuzma and VerHage 2006). Dalam bidang pertanian, teknologi nano bermanfaat dalam banyak hal antara lain; meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, pestisida dan bahan ameliorant lainnya. Mineral Zeolit yang berukuran nano/submikron dapat digunakan sebagai bahan filler yang berperan dalam *release* hara secara bertahap dan bahan perekat. Perubahan ukuran butir dalam bentuk submikron-nano diharapkan dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi pemupukan dan mengurangi dosis pupuk. Nano-zeolit yang berpori dimanfaatkan secara efektif untuk menggabungkan makro

esensial dan mikronutrien yang dilepaskan secara perlahan ke tanaman tergantung pada afinitasnya terhadap zeolit yang membantu dalam mengurangi dampak kehilangan hara (Lateef et al. 2016). Dalam rangka meningkatkan efisiensi pupuk Urea dilakukan formulasi pupuk Urea dengan zeolit yang disalut dengan kitosan dan asam humat. Formula pupuk N ini diharapkan dapat menyediakan unsur hara N bagi tanaman secara bertahap (*slow release*). Tujuan penelitian adalah mempelajari keefektifan formula pupuk N-Zeolit berukuran submicron, formula pupuk N-Zeolit yang disalut dengan kitosan dan formula pupuk N-Zeolit yang disalut dengan asam humat terhadap pembibitan kelapa sawit menggunakan tanah Inceptisol, Bogor.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di laboratorium dan rumah kaca Balai Penelitian Tanah dan laboratorium Pusat Penelitian Fisika, LIPI. Rancangan percobaan yang digunakan Rancangan Acak Lengkap dengan 14 perlakuan dan 5 ulangan. Perlakuan yang dicobakan adalah: (1) Kontrol lengkap, (2) Kontrol tanpa Urea, (3) Urea pril (standar), (4) N + Zeolit 50%, (5) N + Zeolit 75%, (6) N + Zeolit 100%, (7) N + Zeolit + Kitosan 50%, (8) N + Zeolit + Kitosan 75%, (9) N + Zeolit + Kitosan 100%, (10) N + Zeolit + Humat 50%, (11) N + Zeolit + Humat 75%, (12) N + Zeolit + Humat 100%, (13) N-Humat 50%, dan (14) N-Humat 100%.

Tanaman indikator kelapa sawit yang digunakan adalah varietas Yam Andi. Bibit sawit yang digunakan berumur 3 bulan berasal dari Balai Penelitian Karet Sembawa Banyuasin, Sumatera Selatan. Tanah Inceptisol yang digunakan sebanyak 15 kg untuk masing-masing polibag. Dosis pupuk Urea, SP-36, KCl dan Kiserit diaplikasikan bertahap sampai minggu ke 24 (Tabel 1) dan dosis sumber pupuk N dan waktu pemupukan disajikan pada Tabel 2.

Untuk mendapatkan matrik bahan pupuk Urea dan Zeolit berukuran sub mikron, dilakukan teknik *ball milling* di laboratorium Pusat Penelitian Fisika LIPI. Untuk mengetahui ukuran partikel dilakukan analisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA). Matriks yang digunakan untuk penyalutan nitrogen adalah kitosan dan asam humat. Proses *milling* ini selain berfungsi untuk memperkecil ukuran juga untuk mempercepat masuknya urea ke dalam pori-pori Zeolit. Formulasi N-Zeolit dengan cara mencampur Urea dan Zeolit dengan perbandingan 2:3, kemudian dimilling sampai ukuran submicron (berkisar 1769,21921,1 nm). Setelah pemillingan Urea-Zeolit tersebut, selanjutnya dilakukan penyalutan dengan Kitosan atau asam humat. Kadar N yang diperoleh untuk N-Zeolit 20,12%, N-Zeolit-Kitosan 19,46%, N-Zeolit-Humat 20,05% dan N-Humat 48,85%. Dosis pupuk N-Zeolit, N-Zeolit-Kitosan dan N-Humat disesuaikan dengan kadar N dalam sumber pupuk N dengan dosis 100%. Untuk perhitungan dosis 50% dan 75% jumlah pupuknya adalah 50% dan 75% dari dosis 100%.

Pemupukan pada bibit kelapa sawit dilakukan sehari setelah bibit kelapa sawit ditanam di polibag. Cara pemupukan yaitu dosis pupuk sesuai perlakuan disebar di atas tanah, kemudian diaduk merata dan ditanam sampai kedalaman 10 cm. Analisis tanah dilakukan sebelum tanam dengan parameter: tekstur, pH, N-total (metode Kjeldahl), C/N, kadar C-organik (metode Walkley and Black),  $P_2O_5$  dan  $K_2O$  (ekstrak HCl 25%), P-tersedia (Bray I), Kation dapat ditukar (Ca, Mg, K, dan Na) (ekstrak  $NH_4Ac$  pH 7), kapasitas tukar kation (KTK), kejenuhan basa (KB) dan Al-dapat ditukar (KCl 1N). Pengamatan agronomis tinggi tanaman kelapa sawit diamati setiap bulan sampai umur 9 bulan, bobot biomas basah dan kering, serapan hara N, P dan K dan sifat kimia tanah setelah panen meliputi N-total (metode Kjeldahl), Kation dapat ditukar (Ca, Mg dan K) (ekstrak  $NH_4Ac$  pH 7), KB dan KTK.

Tabel 1. Dosis pupuk Urea pril, SP-36, KCl dan Kiserit dan waktu pemupukan

Table 1. Dosage of Urea pril fertilizer, SP-36, KCl and Kieserite and time of fertilization

Waktu pemupukan minggu ke / Time of fertilization (week)	Dosis pupuk / Fertilizer dosage .....			
	Urea pril	SP-36	KCl	Kiserit / Kieserite
	..... g pohon <sup>-1</sup> / g tree <sup>-1</sup>			
2	1,3*)	1,7	1,4	1
3	1,3	1,7	1,4	1
4	2,6	3,4	2,8	2
5	2,6	3,4	2,8	2
6	3,9	5,1	4,2	3
8	3,9	5,1	4,2	3
10	5,2	6,8	5,6	4
12	5,2	6,8	5,6	4
14	5,2	6,8	5,6	4
16	5,2	6,8	5,6	4
18	5,2	6,8	5,6	4
20	5,2	6,8	5,6	4
22	6,5	8,5	7,0	5
24	6,5	8,5	7,0	5

\*) Dosis rekomendasi 100% (Recommendation dosage 100%)

Sumber (Sources): (Lubis 1992)

Tabel 2. Dosis dan waktu aplikasi beberapa sumber pupuk N  
 Table 2. Dosage and time of application of several sources of N fertilizer

Waktu pemupukan minggu ke / Time of fertilization (week)	Dosis pupuk / Fertilizer dosage				
	Urea pril	N-Zeolit / N-Zeolite	N-Zeolit-Kitosan / N-Zeolite-Chitosan	N-Zeolit-Humat / N-Zeolite-Humate	N- Humat / N-Humate
			g pohon <sup>-1</sup> g tree <sup>-1</sup>		
2	1,3*)	2,91	3,01	2,92	1,2
3	1,3	2,91	3,01	2,92	1,2
4	2,6	5,82	6,01	5,83	2,4
5	2,6	5,82	6,01	5,83	2,4
6	3,9	8,95	9,23	8,98	3,7
8	3,9	8,95	9,23	8,98	3,7
10	5,2	11,85	12,25	11,89	4,9
12	5,2	11,85	12,25	11,89	4,9
14	5,2	11,85	12,25	11,89	4,9
16	5,2	11,85	12,25	11,89	4,9
18	5,2	11,85	12,25	11,89	4,9
20	5,2	11,85	12,25	11,89	4,9
22	6,5	14,54	15,03	14,59	5,9
24	6,5	14,54	15,03	14,59	5,9

\*) Dosis rekomendasi 100% (Recommendation dosage 100%)

Untuk mengetahui pengaruh pemupukan terhadap pertumbuhan kelapa sawit dilakukan analisis ragam (anova) dengan program SPSS. Pengujian perbedaan antar perlakuan dilakukan dengan metode *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada tingkat kepercayaan 95%.

Selanjutnya, untuk membandingkan efektivitas beberapa sumber pupuk N digunakan perhitungan *Relative Agronomic Effectiveness* (RAE) masing-masing pupuk yang diuji terhadap pupuk standar dengan rumus sebagai berikut (Mackay et al. 1984):

$$RAE = \frac{\text{Biomass kelapa sawit pada pupuk yang diuji} - \text{biomass kelapa sawit pada kontrol}}{\text{Biomass kelapa sawit pada pupuk standar} - \text{biomass kelapa sawit pada kontrol}} \times 100\%$$

#### Sifat Kimia Tanah Awal yang Digunakan

Tanah awal yang digunakan berasal dari Desa Cibodas, Kecamatan Rumpin, Kabupaten Bogor, Jawa

Barat dengan sifat kimianya yang disajikan pada Tabel 3. Untuk meningkatkan kesuburan tanah maka perlu dilakukan aplikasi bahan organik dan pemupukan NPK.

Tabel 3. Sifat kimia tanah awal Inceptisol Bogor yang digunakan  
 Table 3. Initial soil chemical properties of used Inceptisols of Bogor

Sifat kimia tanah Soil chemical properties	Nilai Value	Kriteria*) Criteria
Tekstur		
Pasir (%)	6	Liat berat
Debu (%)	26	
Liat (%)	68	
pH		
H <sub>2</sub> O	5,4	Masam
KCl	3,9	
Bahan organik		
C-organik (%)	1,39	Rendah
N-total (%)	0,16	Rendah
C/N	9	Rendah
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> HCl 25% (mg 100 g <sup>-1</sup> )	12	Sangat rendah
K <sub>2</sub> O HCl 25% (mg 100 g <sup>-1</sup> )	19	Rendah
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Bray-1 (mg kg <sup>-1</sup> )	4,9	Rendah
Nilai Tukar Kation		
K-dd (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )	0,35	Rendah
Ca-dd (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )	1,03	Sangat rendah
Mg-dd (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )	0,29	Sangat rendah
Na-dd (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )	0,05	Sangat rendah
KTK (Kapasitas Tukar Kation) (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )	10,36	Rendah
KB (Kejenuhan Basa) (%)	17	Sangat rendah
Al-KCl 1 M (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )	3,74	Tinggi
H-KCl 1 M (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )	0,66	

\*) Sumber/Sources: Balai Penelitian Tanah 2009/Indonesian Soil Research Institute 2009

## HASIL DAN PEMBAHASAN

## Sifat Kimia Tanah Setelah Panen

Kadar N-total berkisar 0,130 – 0,160%, pengaruh perlakuan pupuk sumber N terhadap kadar N-total setelah panen tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dengan kontrol lengkap (Tabel 4). Hara N merupakan hara yang mudah menguap dan tercuci selain diserap tanaman sehingga kadar N dalam tanah setelah panen tergolong rendah dan tidak berbeda nyata antar perlakuan.

Kadar Ca-dd berkisar 1,22 – 5,16 cmol (+) kg<sup>-1</sup> terjadi peningkatan walaupun masih tergolong rendah, demikian juga Mg-dd berkisar 0,137 – 2,133 cmol (+) kg<sup>-1</sup> tergolong sedang. Pemupukan N-Zeolit 100% dan N-Zeolit + Humat 100% meningkatkan K-dd berturut-turut sebesar 1,820 cmol (+) kg<sup>-1</sup> dan 1,32 cmol (+) kg<sup>-1</sup> walaupun masih tergolong sedang. Perlakuan N-Zeolit-Kitosan 100% memberikan kadar K-dd 1,07 cmol (+) kg<sup>-1</sup>, hal ini diduga ada sumbangan hara K yang berasal dari Kitosan.

Kapasitas tukar kation (KTK) setelah panen meningkat berkisar 11,85 – 17,95 cmol (+) kg<sup>-1</sup> dan kejenuhan basa hingga 49,7%. Peningkatan KTK terjadi akibat perlakuan N-Zeolit, N-Zeolit-Kitosan dan N-Zeolit-Humat 100%, hal ini karena aplikasi Zeolit diduga meningkatkan KTK tanah, walaupun secara uji statistik tidak berbeda nyata dengan perlakuan Urea standar. Kejenuhan basa berkisar 12 – 49,70%. Perlakuan pemupukan nyata meningkatkan kejenuhan basa dibandingkan dengan kontrol lengkap, hal ini disebabkan adanya peningkatan Ca-dd, K-dd dan Mg-dd akibat perlakuan (Tabel 4). Secara umum perlakuan N-Zeolit 100% memberikan kadar K-dd, setelah panen lebih tinggi dari perlakuan Urea standar, hal ini diduga pemberian zeolit meningkatkan K yang diretensi oleh tanah.

## Tinggi Tanaman dan Jumlah Daun

Perlakuan formula pupuk N-Zeolit, N-Zeolit-Kitosan dan N-Humat tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dibandingkan dengan kontrol terhadap tinggi tanaman kelapa sawit umur 1, 2 dan 3 bulan. Hal ini diduga tanaman kelapa sawit umur 1-3 bulan masih rendah dalam penyerapan unsur hara dan hara yang dibutuhkan bisa disuplai dari hara tanah, sehingga pengaruh pemupukan belum terlihat.

Tinggi tanaman kelapa sawit umur 4 dan 5 bulan berkisar 60,0 – 69,0 cm dan 68,8 – 87,6 cm, dan yang tertinggi dicapai oleh perlakuan N-Zeolit 100% yang berbeda nyata dengan kontrol lengkap dan kontrol tanpa Urea. Sedangkan tinggi tanaman kelapa sawit umur 6, 7, 8 dan 9 bulan berturut-turut berkisar 74,6 – 104,6 cm; 77,7 – 123,7 cm; 81,5 – 138,7 cm; 83,4 – 146,7 cm. Tinggi tanaman sawit umur 9 bulan pada perlakuan N-Zeolit + Kitosan 50% dan N-Zeolit + Kitosan 75% nyata lebih tinggi dibandingkan Urea standar. Tanaman tumbuh sehat dan normal, yaitu pada umur delapan bulan di pembibitan tanaman kelapa sawit memiliki tinggi 0,8-1 meter dengan jumlah daun fungsional sebanyak 5-8 (Hartley dalam Mutert et al. 1999). Tinggi tanaman pada main nursery di Malaysia juga menunjukkan tinggi tanaman 129,18-148,88 cm pada umur tanaman 36 minggu (Donough et al. 2012). Hasil menunjukkan bahwa dosis pemupukan 50% dari dosis rekomendasi sudah cukup untuk mendukung pertumbuhan pembibitan tanaman kelapa sawit, atau terjadi efisiensi 50% dari dosis rekomendasi pupuk N. Pencampuran Urea dengan Zeolit dan penyalutan dengan Kitosan mampu mengefisienkan dosis pupuk Urea. Penyalutan Urea dengan Kitosan dapat menyediakan N secara *slow release* (Tomaszewska and Jarosiewicz 2004), demikian juga apabila disalut dengan sulfur dan tingkat ketersediaannya tergantung dari ketebalan penyalutan sulfur (Booze-Daniels and R.E. Schmidt 1997); (Landies and R Kasten Dumroese 2009).

Tabel 4. Sifat kimia tanah setelah panen

Table 4. Chemical properties of soil after harvest

Perlakuan Treatment	N-total .....%	Ca-dd .....cmol (+) kg <sup>-1</sup>	Mg-dd .....cmol (+) kg <sup>-1</sup>	K-dd .....cmol (+) kg <sup>-1</sup>	KTK CEC	KB BS
Kontrol lengkap	0,14 a	1,22 c	0,14 d	0,02 e	11,85 c	12,00 e
Kontrol (tanpa Urea)	0,13 a	5,05 a	1,74 ab	0,48cde	15,88 ab	46,00 ab
Urea standar	0,14 a	5,03 a	1,75 ab	0,36 de	15,04 ab	48,00 ab
N-Zeolit 50%	0,14 a	4,26 ab	1,29 bc	0,51 bcde	16,02 ab	38,00 bcd
N-Zeolit 75%	0,14 a	4,44 ab	1,27bc	1,19 abc	17,61 ab	41,00 abcd
N-Zeolit 100 %	0,16 a	4,74 ab	2,13 a	1,82 a	17,81 a	49,70 a
N-Zeolit + Kitosan 50 %	0,15 a	4,55 ab	1,55 abc	0,70 bcde	16,27 ab	42,70 abc
N-Zeolit + Kitosan 75 %	0,13 a	4,02 ab	1,47 bc	0,74 bcde	16,18 ab	39,00 abcd
N-Zeolit +Kitosan 100 %	0,14 a	4,52 ab	1,61 abc	1,07abcd	17,95 a	40,70abcd
N-Zeolit + Humat 50 %	0,15 a	3,19 b	1,11 c	0,51 bcde	14,49 bc	33,30 cd
N-Zeolit + Humat 75 %	0,13 a	5,16 a	1,35 bc	1,03 bcd	16,46 ab	46,70 ab
N-Zeolit + Humat 100 %	0,15 a	5,14 a	1,90 ab	1,32 ab	17,92 a	47,00 ab
N + Humat 50 %	0,15 a	4,21 ab	1,89 ab	0,31 de	15,52 ab	38,70 abcd
N + Humat 100 %	0,15 a	3,12 b	1,29 bc	0,43 cde	15,10 ab	31,30 d

Keterangan: Angka dalam kolom yang sama diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf uji 5% DMRT

Note: Numbers on the same column followed by the same letters are not significantly different on the Duncan Multiple Range Test (DMRT) at 5%



Tabel 5. Tinggi tanaman pembibitan sawit umur 1 - 9 bulan pada efektivitas beberapa jenis pupuk N terhadap pembibitan kelapa sawit

Table 5. The height of nursery plants in 1 - 9 months aged on the effectiveness of some types of N fertilizer to palm oil nursery

Perlakuan / Treatment	Tinggi tanaman (cm) pada umur (bulan) / Plant height (cm) on aged (months)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kontrol lengkap	28,0 a	34,3 a	46,9 a	60,0 bc	68,8 d	74,6 d	77,7 d	81,5 e	83,4 f
Kontrol (tanpa Urea)	27,3 abc	33,8 a	45,7 a	60,5 bc	73,2 cd	81,0 d	86,0 d	90,6 e	94,0 f
Urea standar	26,3 abc	33,7 a	46,4 a	63,0 abc	84,3 a	99,7 abc	113,4 abc	126,4 bcd	127,7 bcde
N-Zeolit 50%	24,6 c	32,5 a	45,9 a	62,6 abc	83,8 ab	100,0 abc	116,0 ab	129,7 abc	138,0 abcd
N-Zeolit 75 %	26,2 abc	32,2 a	46,9 a	63,1 abc	81,5 abc	100,0 abc	119,0 a	132,5 ab	140,1 ab
N-Zeolit 100 %	27,7 ab	34,4 a	48,0 a	69,0 a	87,6 a	103,0 ab	120,3 a	138,7 a	139,2 abc
N-Zeolit + Kitosan 50%	26,5 abc	32,2 a	46,6 a	65,9 ab	86,6 a	104,0 ab	123,7 a	137,3 ab	142,6 a
N-Zeolit + Kitosan 75 %	26,0 abc	33,4 a	47,0 a	66,0 ab	85,8 a	104,6 a	120,1 a	138,5 a	146,7 a
N-Zeolit + Kitosan 100%	25,3 abc	31,7 a	44,6 a	60,0 bc	79,3 abc	96,7 abc	114,3 ab	128,6 abcd	137,6 abcd
N-Zeolit + Humat 50%	26,3 abc	33,5 a	47,4 a	65,5 ab	83,7 ab	100,6 abc	117,4 a	127,8 abcd	134,6 abcde
N-Zeolit + Humat 75 %	25,3 abc	33,4 a	47,3 a	66,0 ab	84,0 ab	102,6 ab	120,2 a	132,5 ab	139,1 abc
N-Zeolit + Humat 100 %	26,6 abc	33,7 a	45,5 a	58,7 bc	74,7 bcd	93,8 bc	104,0 c	119,7 cd	126,6 cde
N + Humat 50 %	24,8 bc	30,9 a	41,8 a	56,3 c	73,5 cd	91,3 c	107,0 bc	118,2 d	126,0 de
N + Humat 100 %	26,1 abc	32,7 a	43,7 a	61,7 abc	79,0 abc	94,8 abc	107,0 bc	120,3 cd	123,7 e

Keterangan: Angka dalam kolom yang sama diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf uji 5% DMRT

Note: Numbers on the same column followed by the same letters are not significantly different on the Duncan Multiple Range Test (DMRT) at 5%.

Tabel 6. Rataan jumlah daun pembibitan sawit umur 1-9 bulan pada efektivitas beberapa jenis pupuk N terhadap pembibitan kelapa sawit

Table 6. Average number of palm nursery leaves in 1 - 9 months aged on effectiveness of some types of N fertilizer to palm oil nursery

Perlakuan / Treatment	Rataan jumlah daun pada umur (bulan) / Average number of leaves on age (months)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kontrol lengkap	5,0 a	9,0 a	10,0 a	11,4 b	13,0 d	13,6 c	13,8 d	16,4 d	16,0 d
Kontrol (tanpa Urea)	5,0 a	8,0 ab	10,0 a	12,4 ab	13,4 cd	14,8 bc	14,8 cd	17,0 bcd	17,2 cd
Urea standar	5,0 a	7,0 b	10,0 a	11,8 ab	14,0 bcd	15,6 ab	15,6 bc	16,6 cd	18,2 bc
N-Zeolit 50 %	4,0 a	7,0 b	10,0 a	12,0 ab	14,6 abcd	15,8 ab	15,8 abc	18,4 abcd	19,6 ab
N-Zeolit 75 %	5,0 a	8,0 ab	10,0 a	13,0 a	16,2 a	17,2 a	17,2 ab	19,2 a	20,8 a
N-Zeolit 100 %	5,0 a	8,0ab	11,0 a	12,8 ab	15,0 abc	17,2 a	17,2 ab	19,6 a	20,2 ab
N-Zeolit + Kitosan 50 %	5,0 a	7,0 b	10,0 a	13,0 a	14,6 abcd	16,6 a	16,6 ab	19,6 a	20,4 ab
N-Zeolit + Kitosan 75%	5,0 a	7,0 b	10,0 a	13,0 a	14,4 bcd	16,4 ab	16,4 abc	19,6 a	19,4 ab
N-Zeolit + Kitosan 100 %	5,0 a	7,0 b	10,0 a	12,6 ab	14,2 bcd	17,0 a	17,0 ab	19,8 a	20,4 ab
N-Zeolit + Humat 50%	5,0 a	7,0 b	10,0 a	12,4 ab	14,8 abc	16,6 a	16,6 ab	19,4 a	20,0 ab
N-Zeolit + Humat 75%	5,0 a	7,0 b	10,0 a	12,4 ab	15,2 ab	16,0 ab	16,0 abc	19,6 a	20,6 a
N-Zeolit + Humat 100 %	5,0 a	7,0 b	10,0 a	12,0 ab	14,0 bcd	16,0 ab	16,0 abc	18,6 abc	20,2 ab
N + Humat 50%	5,0 a	7,0 b	10,0 a	13,0 a	14,2 bcd	15,6 ab	16,0 abc	19,0 ab	19,6 ab
N + Humat 100 %	5,0 a	8,0 ab	10,0 a	13,2 a	14,4 bcd	16,4 ab	17,6 a	19,4 a	19,4 ab

Keterangan: \*)Angka dalam kolom yang sama diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf uji 5% DMRT

Note: Numbers on the same column followed by the same letters are not significantly different on the Duncan Multiple Range Test (DMRT) at 5%.

Perlakuan formula pupuk N-Zeolit, N-Zeolit-Kitosan dan N-Humat tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dibandingkan dengan Urea standar terhadap jumlah daun kelapa sawit umur 1-3 bulan. Jumlah daun terbanyak pada umur 9 bulan dicapai oleh N-Zeolit 75% dan N-Zeolit + Humat 75%.

#### Bobot Biomas dan Nilai Relatif Efektivitas Agronomi

Bobot biomas basah kelapa sawit berkisar 332 – 1318 g pot<sup>-1</sup> (Tabel 7). Biomas diukur dari bobot batang, pelepah, dan daun sehingga memberikan nilai yang cukup besar. Sedangkan penelitian (Imogie et al. 2016) memberikan bobot biomas antara 85,9-195,6 g tanaman<sup>-1</sup> pada umur tanaman 12 bulan. Bobot biomas basah tertinggi dicapai

oleh perlakuan N-Zeolit 100% yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan Urea standar. Formulasi Urea dengan Zeolit yang telah melalui proses milling akan meningkatkan kapasitas penyerapan N oleh pori Zeolit dan dapat melepaskan N secara perlahan (*slow release*) (Tomaszewskaa and Jarosiewiczzb 2006). Perlakuan N-Humat 50 dan 100%, kontrol tanpa Urea dan kontrol lengkap memberikan bobot biomas basah lebih rendah. Perlakuan taraf dosis pemupukan dari jenis pupuk N yang dicobakan tidak menunjukkan perbedaan yang nyata, hal ini menunjukkan bahwa dosis 50% dari dosis rekomendasi masih memberikan pertumbuhan dan bobot biomas basah yang cukup untuk mendukung pertumbuhan pembibitan tanaman kelapa sawit.

Tabel 7. Bobot biomas basah dan kering dan RAE pada efektivitas beberapa jenis pupuk N terhadap pembibitan kelapa sawit  
 Table 7. Biomass wet and dry weight and RAE on the effectiveness of several types of N fertilizer on palm oil nursery

Perlakuan / Treatment	Bobot biomas (g pot <sup>-1</sup> ) / Biomass weight (g pot <sup>-1</sup> )		RAE / Relative agronomic effectiveness (%)
	Bobot basah / Wet weight	Bobot kering / Dry weight	
Kontrol lengkap	332,0 d	169,0 c	-
Kontrol tanpa Urea)	478,0 d	224,8 c	-
Urea standar	1096,0 abc	548,0 ab	100
N-Zeolit 50 %	1174,0 ab	611,8 ab	117
N-Zeolit 75 %	1270,0 ab	653,1 ab	128
N-Zeolit 100 %	1318,0 a	668,8 ab	132
N-Zeolit + Kitosan 50%	1222,0 ab	643,3 ab	125
N-Zeolit + Kitosan 75%	1314,0 a	701,2 a	140
N-Zeolit + Kitosan 100%	1278,0 ab	658,8 ab	129
N-Zeolit + Humat 50%	1158,0 abc	597,2 ab	113
N-Zeolit + Humat 75%	1262,0 ab	685,4 ab	136
N-Zeolit + Humat 100%	1070,0 abc	595,8 ab	113
N + Humat 50%	930,0 c	537,8 b	97
N + Humat 100%	1062,0 bc	583,5 ab	109

Keterangan: Angka dalam kolom yang sama diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf uji 5% DMRT.

Note: Numbers on the same column followed by the same letters are not significantly different on the Duncan Multiple Range Test (DMRT) at 5%.

Bobot biomas kering tertinggi sebesar 701,2 g pot<sup>-1</sup> dicapai oleh perlakuan N-Zeolit + Kitosan 75% yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan Urea standar. Perlakuan N-Zeolit + Kitosan 75% meningkatkan bobot biomas kering sebesar 22% dibanding Urea standar. Perlakuan N-Zeolit + Kitosan 75% mampu menyediakan N secara bertahap melalui mekanisme kation NH<sub>4</sub><sup>+</sup> terperangkap sementara dalam pori-pori zeolit yang sewaktu-waktu dapat dilepaskan secara perlahan untuk diserap tanaman (Al-Jabri 2010).

Sejalan dengan parameter tinggi tanaman, jumlah daun dan bobot biomas basah, taraf dosis pupuk tidak menunjukkan perbedaan yang nyata terhadap bobot biomas kering, hal ini menunjukkan bahwa dosis 50% dari dosis rekomendasi lebih efisien. Penyediaan hara N yang bersifat *slow release* akan meningkatkan efisiensi pupuk (Shaviv and Mikkelsen 1993). Menurut Trenkel (2010), penggunaan pupuk *slow release* dapat mengurangi 20-30% kehilangan hara daripada aplikasi pemupukan konvensional.

N-Zeolit yang disalut dengan asam humat memberikan bobot biomas kering yang lebih rendah dari penyalutan Kitosan walaupun uji statistik tidak berbeda nyata. Berdasarkan hal ini penyalutan dengan asam humat bisa digunakan apabila harga Kitosan lebih mahal, disamping asam humat mempunyai kelebihan dapat bermanfaat dalam memperbaiki sifat-sifat tanah. Nilai relatif efektivitas agronomi berdasarkan bobot biomas kering berkisar 97–140%. Perlakuan pupuk yang dicobakan umumnya memberikan nilai relatif efektivitas agronomi di atas 100%, kecuali perlakuan N+Humat 50%. Hal ini berarti perlakuan pupuk yang diberikan efektif meningkatkan bobot biomas kering kelapa sawit. Perlakuan N-Zeolit + Kitosan 75% memberikan nilai relatif efektivitas agronomis tertinggi sebesar 140% diikuti perlakuan N-zeolit + Humat 75% sebesar 136 dan N-Zeolit 100% sebesar 132. Peningkatan dosis pupuk N-Zeolit memberikan peningkatan nilai relatif efektivitas agronomi,

tetapi tidak terjadi pada perlakuan pupuk N-Zeolit- Kitosan dan N-Zeolit- Humat (Tabel 7). Penyalutan dengan Kitosan dan Humat mampu mengefisienkan pupuk sampai 50%. Penyalutan pupuk N dengan senyawa polimer seperti Kitosan mampu menyediakan N secara perlahan (Nadiyah et al. 2013; Subbarao, Kartheek and Sirisha 2013; Bansiwal et al. 2006). Kitosan tidak dapat larut air dan memiliki sifat mudah terdekomposisi, tidak toksik dan ramah lingkungan (Wu and Liu 2008). (Handayani 2014) melaporkan pencucian nitrogen pada percobaan perkolasi menunjukkan bahwa pupuk yang dilapisi kitosan lebih lambat tercuci daripada pupuk yang tidak dilapisi kitosan.

### Serapan N, P dan K

Serapan N, P dan K dari biomas kelapa sawit berturut-turut berkisar 1,04 – 2,89 g pot<sup>-1</sup>; 0,10 – 0,25 g pot<sup>-1</sup>; 0,71 – 2,19 g pot<sup>-1</sup>. Serapan N tertinggi sebesar 2,89 g pot<sup>-1</sup> dicapai oleh perlakuan N-Zeolit 75% yang berbeda nyata dengan kontrol lengkap, kontrol tanpa Urea, N-Zeolit+Humat 50% dan 100%. Perlakuan N-Zeolit+Kitosan 75% nyata meningkatkan serapan P yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya kecuali dengan perlakuan kontrol lengkap, kontrol tanpa Urea dan N-Zeolit+ Humat 100%. Sedangkan serapan K tertinggi sebesar 2,19 g pot<sup>-1</sup> dicapai oleh perlakuan N-Zeolit 100% yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya kecuali dengan perlakuan kontrol lengkap, kontrol tanpa Urea, N-Zeolit + Humat 100%. Perlakuan N-Zeolit+Kitosan 75% memberikan serapan N, P dan K yang tinggi, hal ini berkesesuaian dengan tinggi tanaman dan bobot biomas kering yang dicapai juga lebih tinggi dari perlakuan lainnya.

Peningkatan dosis pupuk dari 50% hingga 100% tidak menunjukkan perbedaan yang nyata terhadap serapan N, P dan K. Hal ini sejalan dengan parameter bobot biomas basah dan kering juga tidak terjadi perbedaan yang nyata dengan peningkatan dosis pupuk yang dicobakan (Tabel 8).

Tabel 8. Serapan N, P dan K pada efektivitas beberapa jenis pupuk N terhadap pembibitan kelapa sawit  
 Table 8. Uptake of N, P and K on the effectiveness of some types of N fertilizers to oil palm nursery

Perlakuan / Treatment	Serapan hara (g pot <sup>-1</sup> ) / Nutrient Uptake (g pot <sup>-1</sup> )		
	N	P	K
Kontrol lengkap	1,04 c	0,10 d	0,71 d
Kontrol tanpa Urea	1,14 c	0,12 cd	1,10 cd
Urea standar	2,16 ab	0,21 ab	1,97 ab
N-Zeolit 50 %	2,65 ab	0,24 ab	2,14 ab
N-Zeolit 75 %	2,89 a	0,23 ab	2,10 ab
N-Zeolit 100 %	2,24 ab	0,22 ab	2,19 a
N-Zeolit + Kitosan 50%	2,15 ab	0,18 abcd	1,89 ab
N-Zeolit + Kitosan 75%	2,82 a	0,25 a	2,17 a
N-Zeolit + Kitosan 100%	2,84 a	0,21 ab	1,93 ab
N-Zeolit + Humat 50%	1,96 b	0,20 abc	1,88 ab
N-Zeolit + Humat 75%	2,27 ab	0,21 ab	2,08 ab
N-Zeolit + Humat 100%	1,91 b	0,16 bcd	1,47 bc
N + Humat 50%	2,13 ab	0,22 ab	1,98 ab
N + Humat 100%	2,30 ab	0,17 abcd	1,77 ab

Keterangan: Angka dalam kolom yang sama diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf uji 5% DMRT.

Note: Numbers on the same column followed by the same letters are not significantly different on the Duncan Multiple Range Test (DMRT) at 5%.

## KESIMPULAN

Perlakuan N-Zeolit + Kitosan 75% nyata meningkatkan tinggi tanaman kelapa sawit umur 9 bulan sebesar 146,7 cm, bobot biomas kering sebesar 701,2 g pot<sup>-1</sup> dengan nilai RAE 140 dan serapan hara N, P dan K masing-masing sebesar 2,82 ; 0,25 dan 2,17 g pot<sup>-1</sup>. Bobot biomas kering meningkat sebesar 22% dibanding Urea standar. Formulasi pupuk N dengan Zeolit dan penyalutan dengan Kitosan mampu mengefisienkan pupuk Urea hingga 25%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Jabri, M. (2010) Penggunaan Mineral Zeolit sebagai Pembenh Tanah Pertanian dalam Hubungan dengan Standardisasinya Dan Peningkatan Produksi Tanaman Pangan. *Jurnal Zeolit Indonesia*. 9 (1 Mei 2010), 1–12.
- Araújo, B.R., Romão, L.P.C., Doumer, M.E. & Mangrich, A.S. (2017) Evaluation of the interactions between chitosan and humics in media for the controlled release of nitrogen fertilizer. *Journal of Environmental Management*. [Online] 190, 122–131. Available from: doi:10.1016/j.jenvman.2016.12.059.
- Aulakh, M.S., Cresser, M.S., Doran, J.W., Edwards, A.C., Shengxiu, L., Matar, A., Mosier, A.R., Ryan, J., Torrent, J. & Ling, X. (1992) *Advances in soil science*. B.A. Stewart (ed.) 1st editio. New York, Springer-Verlag New York, Inc.
- Bacon, P.E. (1995) *Nitrogen fertilization in the environment*. CRC Press LLC.
- Balai Penelitian Tanah (2009) *Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. B.H. Prasetyo, Santoso, D. & W, L.R. (eds.) 2nd edition. Bogor, Balai Penelitian Tanah.
- Bansiwal, A.K., Rayalu, S.S., Labhasetwar, N.K. & Devotta, A.A.J.S. (2006) Surfactant-modified zeolite as a slow release fertilizer for phosphorus. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. [Online] (July 2014). Available from: doi:10.1021/jf060034b.
- Booze-Daniels, J.N. & R.E. Schmidt (1997) The use of slow release nitrogen fertilizers on the roadside a literature review. *Virginia Transportation Research Council Virginia Department of Transportation Box 3817, University Station Charlottesville, VA 22903-0817*. (540).
- Buresh, R.J. & De Datta, S.K. (1991) Nitrogen dynamics and management in rice-legume cropping systems. *Advances in Agronomy*. [Online] 45, 1–59. Available from: doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60037-1.
- Chichester, F.W. & Richardson, C.W. (1992) Sediment and nutrient loss from clay soils as affected by tillage. *Journal of Environmental Quality*. [Online] 21, Madison, WI, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, 587–590. Available from: doi:10.2134/jeq1992.00472425002100040010x.
- Corley, R.H.V. & Tinker, P.B. (2016) *The oil palm*. Fifth. [Online] Pondicherry, India, John Wiley & Sons, Ltd. Available from: doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
- Darmosaroko, W., Sutarta, E.S. & Winarna (2003) *Lahan dan Pemupukan Kelapa Sawit*. 1st edition. Medan, Indonesia, Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- De Datta, S.K., Obcemea, W.N., Real, J.G., Trevitt, A.C.F., Freney, J.R. & Simpson, J.R. (1989) Measuring nitrogen losses from lowland rice using bulk aerodynamic and nitrogen-15 balance methods. *Soil Science Society of America Journal*. [Online] 53, Madison, WI, Soil Science Society of America, 1275–1281. Available from: doi:10.2136/sssaj1989.03615995005300040047x.



- Direktorat Jenderal Perkebunan (2016) *Statistik Perkebunan Indonesia Komoditas Kelapa Sawit 2014 - 2016*. (December 2015), Jakarta, Direktorat Jenderal Perkebunan Republik Indonesia.
- Donga, L., Córdova-Kreylosb, A.L., Yanga, J., Yuana, H. & Scowb, K.M. (2012) Humic acids buffer the effects of urea on soil ammonia oxidizers and potential nitrification. *Soil Biol Biochem.* 41 (8), 1612–1621.
- Donough, C.R., Mohanaraj, S.N. & Oberthür, T. (2012) Growth of oil palm seedlings influenced by nursery practices in Malaysia and Indonesia. 73 (855), 2014.
- Freney, J.R., Trevitt, A.C.F., Datta, S.K. De, Obcemea, W.N. & Real, J.G. (1990) The interdependence of ammonia volatilization and denitrification as nitrogen loss processes in flooded rice fields in the Philippines. *Biology and Fertility of Soils.* [Online] 9 (1), 31–36. Available from: doi:10.1007/BF00335858.
- Galloway, J.N., Dentener, F.J., Capone, D.G., Boyer, E.W., Howarth, R.W., Seitzinger, S.P., Asner, G.P., Cleveland, C.C., Green, P.A., Holland, E.A., Karl, D.M., Michaels, A.F., Porter, J.H., Townsend, A.R. & Vo, C.J. (2004) Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biogeochemistry.* [Online] 70 (2), 153–226. Available from: doi:10.1007/s10533-004-0370-0.
- Handayani, L. (2014) *Formulasi Pupuk Lepas Terkendali Menggunakan Pelapisan Akrilik dan Kitosan serta Aplikasinya pada Pembibitan Acacia crassiparva*. Institut Pertanian Bogor.
- Hidayati, J., Sukardi, Suryani, A., Fauzi, A.M. & Sugiharto (2015) Optimization of palm oil plantation revitalization in North Sumatera Indonesia. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology.* [Online] 5 (6), 460–468. Available from: doi:10.18517/ijaseit.5.6.601.
- Imogie, A.E., Ugbah, M.M., Aondona, O., A, E., Eluwan, S., O.A, O. & Utulu, S.N. (2016) Response of oil palm seedlings to combined application of NPKMg 12 : 12 : 17 : 2 and liquid fertilizers ( humikon and metalon ). *International Journal of Agricultural Policy and Research.* 4 (12), 271–275.
- Keller, G.D. & Mengel, D.B. (1986) Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers surface applied to no-till corn1. *Soil Science Society of America Journal.* [Online] 50, Madison, WI, Soil Science Society of America, 1060–1063. Available from: doi:10.2136/sssaj1986.03615995005000040045x.
- Kuzma, J. & VerHage, P. (2006) Nanotechnology in agriculture and food production. *Woodrow Wilson International Center for Scholars.* (September).
- Landies, T.D. & R Kasten Dumroese (2009) Using polymer-coated controlled-release fertilizers in the nursery and after outplanting. *2009 Summer Forest Nursery Notes.* (July).
- Lateef, A., Nazir, R., Jamil, N., Alam, S., Shah, R., Khan, M.N. & Saleem, M. (2016) Synthesis and characterization of zeolite based nano-composite: An environment friendly slow release fertilizer. *Microporous and Mesoporous Materials.* [Online] 232, Elsevier Ltd, 174–183. Available from: doi:10.1016/j.micromeso.2016.06.020.
- Lubis, A.U. (1992) *Kelapa sawit (elaeis guineensis jacq.) di Indonesia*. Pematang Siantar: Pusat Penelitian Perkebunan Marihat - Bandar Kuala 1992.
- Mackay, A.D., Syers, J.K. & Gregg, P.E.H. (1984) Ability of chemical extraction procedures to assess the agronomic effectiveness of phosphate rock materials. *New Zealand Journal of Agricultural Research.* [Online] 27 (219–230). Available from: doi:10.1080/00288233.1984.10430424.
- Maharani, D.K. & Novan, A. (2017) Effect of zeolite-chitosan composites coating on urea fertilizer as slow release fertilizer. *Research Journal of Pharmaceutical , Biological and Chemical Sciences.* 8(6), 770–774.
- Manggabarani, A. (2009) *Palm oil, a golden gift from Indonesia to the world*. Directorate General of Estate Crops in collaboration with Sinar Mas.
- Mutert, B.E., Esquivéz, A.S. & Santos, A.O.D.L. (1999) The oil palm nursery : foundation for high production. 13 (1), 39–44.
- Nadiah, N., Hamid, A., Mohamad, N., Hing, L.Y., Dimin, M.F. & Shaaban, A. (2013) The effect of chitosan content to physical and degradation properties of biodegradable urea fertilizer. *Journal of Scientific and Innovative Research.* 2 (5), 893–902.
- Naz, M.Y. & Sulaiman, S.A. (2016) Slow release coating remedy for nitrogen loss from conventional urea: A review. *Journal of Controlled Release.* [Online] 225, Elsevier B.V., 109–120. Available from: doi:10.1016/j.jconrel.2016.01.037.
- Salazar, F., Martínez-lagos, J., Alfaro, M. & Misselbrook, T. (2012) Low nitrogen leaching losses following a high rate of dairy slurry and urea application to pasture on a volcanic soil in Southern Chile. *'Agriculture, Ecosystems and Environment'*. [Online] 160, Elsevier B.V., 23–28. Available from: doi:10.1016/j.agee.2012.04.018.
- Shaviv, A. & Mikkelsen, R. (1993) Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation - a review. *Fertilizer Research.* 35, 1–12.
- Silalertruksa, T., Gheewala, S.H., Pongpat, P., Kaenchan, P., Permpool, N., Lecksiwilai, N. & Mungkung, R. (2018) Environmental sustainability of oil palm cultivation in different regions of Thailand: Greenhouse gases and water use impact. *Journal of Cleaner Production.* [Online] 167, Elsevier Ltd, 1009–1019. Available from: doi:10.1016/j.jclepro.2016.11.069.
- Soepadiyo Mangoensoekarjo, H.S. (2008) *Manajemen Agrobisnis Kelapa Sawit*. 2 nd. Yogyakarta, Gadjah Mada University Press.
- Soh, A.C., Mayes, S. & Roberts, J. (2017) The Plant and Crop.In: Soh, A.C., Mayes, S. & Roberts, J. (eds.) *Oil*

- palm breeding genetics and genomics*. New York, CRC Press Taylor & Francis Group, pp.7–15.
- Subbarao, C. V., Kartheek, G. & Sirisha, D. (2013) Slow release of potash fertilizer through polymer coating. *International Journal of Applied Science and Engineering*. 11 (1), 25–30.
- Suherman & Anggoro, D. (2011) Producing slow release urea by coating with starch/acrylic acid in fluid bed spraying. *International Journal of Engineering & Technology*. 11:06 (December), 62–66.
- Tisdale, S.L., Nelson, W.L. & Beaton, J.D. (1985) *Soil fertility and fertilizers*. London, Collier Macmillan Publishers.
- Tomaszewska, M. & Jarosiewicz, A. (2004) Polysulfone coating with starch addition in CRF formulation. *Desalination*. [Online] 163 (1–3), 247–252. Available from: doi:10.1016/S0011-9164(04)90196-8.
- Tomaszewskaa, M. & Jarosiewiczzb, A. (2006) Encapsulation of mineral fertilizer by polysulfone using a spraying method. *Desalination*. [Online] 198, 346–352. Available from: doi:10.1016/j.desal.2006.01.032.
- Trenkel, M.E. (2010) *Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture*. Paris, International Fertilizer Industry Association (IFA) Paris, France, 2010.
- Wu, L. & Liu, M. (2008) Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention. *Carbohydrate Polymers*. [Online] 72, 240–247. Available from: doi:10.1016/j.carbpol.2007.08.020.
- Yang, Y., Ni, X., Zhou, Z., Yu, L., Liu, B., Yang, Y. & Wu, Y. (2017) Performance of matrix-based slow-release urea in reducing nitrogen loss and improving maize yields and profits. *Field Crops Research*. [Online] 212 (July), Elsevier, 73–81. Available from: doi:10.1016/j.fcr.2017.07.005.